

Bir Badem İşleme Makinesi Tasarımı İçin Gerekli Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi*

Selçuk Arslan, Kubilay K. Vursavuş

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 46100
Kahramanmaraş
sarslan@ksu.edu.tr

Özet : Bu çalışmada, üç badem çeşidinin (Ferragnes, Ferradual ve Guara) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üç badem çeşidinde de; uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve kütle değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Ferragnes çeşidinde, nem içeriği ve yükleme eksenini, kırılma dayanımları üzerinde %1 ($P<0.01$) önem düzeyinde etkili bulunmuştur. Nem içeriği ve sıkıştırma eksenini ile ($P<0.01$) nem içeriği x sıkıştırma eksenini interaksiyonunun da ($P<0.05$) enerji gereksinimleri üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, badem kabuklarının kırılması için gereksinim duyulan gücün üç yükleme ekseninde de farklılıklar gösterdiği ($P<0.05$) sonucuna varılmıştır. Çeşitler arası fark incelendiğinde ise, sert kabuk dayanım direnci açısından Ferragnes ve Ferradual çeşitleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Ferragnes çeşidinin mekanik dayanımına ilişkin sonuçlar değerlendirildiğinde, kabuk kırılmalarının kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için nem koşullandırılmasının yapılması ve düşey eksen boyunca sıkıştırma işleminin gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ferragnes çeşidinin iç badem mekanik direnci diğer iki çeşitten daha yüksek ölçülmüştür. Ayrıca, iç bademlerin kırılması için gereksinim duyulan güç miktarları da Ferragnes, Ferradual ve Guara çeşitleri için sırasıyla; 0.0081 W, 0.0054 W ve 0.0065 W olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Badem, fiziksel ve mekanik özellik, nem içeriği, kırılma noktası, sıkıştırma eksenini.

Determining the Some Physical and Mechanical Properties Required for Designing the Almond Nut Processing Machines

Abstract : The objective of this study was to determine the physical and mechanical properties of three almond varieties (Ferragnes, Ferradual, Guara). Significant differences were found amongst the three varieties in terms of principle diameters, geometric mean diameter, sphericity, surface area, volume and mass. Moisture content and loading axes had significant effect on rupture strength ($P<0.01$) for Ferragnes variety. The effect of moisture content and compression axis ($P<0.01$) and the effect of moisture content-compression axis interaction ($P<0.05$) were also found to have significant effect on energy requirement. Duncan's multiple range tests showed that power needed for rupture was different in each of the three compression axes ($P<0.05$). Hard shell rupture strength was not statistically different for Ferragnes and Ferradual. It was found that moisture conditioning is necessary for an easy rupture of the shells along with lateral loading for cracking. Kernel rupture strength for Ferragnes was found to be greater than the other two. Almond kernel cracking tests suggested that rupture strength is higher for Ferragnes variety compared to the other two varieties. The greatest power was required by Ferragnes with 0.0081 W, followed by Ferradual and Guara, respectively with 0.0054 W and 0.0065 W.

Keywords : Almonds, physical and mechanical properties, moisture content, rupture point, compression axis

GİRİŞ

Bademin gerek ülkemizde gerekse diğer ülkelerde ekonomik değeri yüksek olan sert kabuklu bir meyve olduğu bilinmektedir. Badem hasadı ülkemizde, diğer sert kabuklu meyvelerin hasadında olduğu gibi, elle yapılmaktadır. Ülkemizde hasat edilen bademlerin yumuşak (dış) kabuklarının ayrılması (kavlatma) ve sert kabuklarının kırılması işlemleri de elle yapılmaktadır. Badem hasadı ve hasat sonrası işlemlere ilişkin olarak geliştirilmiş mekanizasyon araçları bulunmadığından elle yapılan işlemler, gerek zaman tüketiminin gerekse işçilik masraflarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, örneğin önemli badem üreticilerinden Amerika Birleşik Devletlerinde, badem hasadı ve hasat sonrası işlemleri sadece mekanize edilmiş olmakla kalmayıp otomatik sistemler de geliştirilmiştir. Buna göre, hasat sonrası kabuk ayırma işlemlerine ek olarak, iç meyvenin sınıflandırıldığı, kavrulduğu, ihracat standartlarına uygun olarak paketlenildiği kombine badem işleme tesisleri kurulmuştur. Bu sistemler, işleme kapasitesine bağlı olarak farklı farklı tasarlanmıştır.

Ülkemizde çok büyük badem üretim alanları bulunmadığı için çiftçi ölçeğinde üretilen bademlerin kavlatılması, dış kabuklarının kırılması ve tanelerin istenmeyen materyallerden ayrılması için küçük kapasiteli işleme ve sınıflama makinelerinin tasarlanması gerekmektedir. Bu tesisler, bireysel olarak kullanılabilen gibi ortak kullanım için de tasarlanabilir. Böyle bir sistemin tasarlanabilmesi için öncelikle ülkemizde yaygın olarak üretilen çeşitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Gezer ve ark., 2002; Özgüven ve Vursavuş, 2004; Vursavuş ve Özgüven, 2005).

Dış kabuklara ve meyvelere ait fiziko-mekanik özellikler, tasarlanacak olan makinenin tasarım parametrelerini de oluşturmaktadır. Ülkemizde fiziksel özellikler üzerine yapılmış bir çalışma (Aydın, 2003) bulunmasına rağmen bir badem işleme makinesinin ya da tesisinin kurulması için bilinmesi gereken fiziko-mekanik özellikler (Mohsenin, 1980; Olaoye, 2000; Sitkei, 1986) yaygın çeşitler için ya da önerilen verimli badem çeşitleri için henüz belirlenmemiştir. Bu çalışma, KSÜ Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölüm Başkanlığının hasat sonrası işlemlerin mekanize edilmesi talebi üzerine gündeme gelmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada, SEKAMER'de üretimi yapılan ve bu araştırma için önerilen *Ferragnes*, *Ferradual* ve *Guara* çeşidi bademler kullanılmıştır. Bademlerin nem içerikleri Olaniyan ve Oje (2002) adlı araştırmacılar tarafından önerilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Denemelerde, 4 farklı nem içeriğinde çalışılmış ve nem içeriklerinin belirlenmesi işlemi denemelerden önce kurutma dolabında kurutma işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda çalışılan nem içerikleri %6.16, %11.67, %19.21 ve %26.79 olarak belirlenmiştir.

Yöntem

Denemeler iki aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, üç çeşit dikkate alınarak sert kabuklu ve iç bademin uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim, kütle ve randıman değerleri gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sert kabuklu ve iç bademin boyutsal özelliklerinin belirlenmesinde 0.01 mm hassasiyete sahip dijital kumpas kullanılmıştır. Ayrıca kütle ölçümleri de 0.001 g hassasiyetli hassas terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geometrik ortalama çap ve küresellik değerleri aşağıda yer alan eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Mohsenin, 1980, Aydın, 2003; Vursavuş ve Özgüven, 2004).

$$D_g = (LWT)^{0.333} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{0.333}}{L} \quad (2)$$

Burada: D_g geometrik ortalama çap (mm), L uzunluk (mm), W genişlik (mm), T kalınlık (mm) ve ϕ küresellik (%)'dir.

Ferragnes, *Ferradual* ve *Guara* çeşitleri için, yüzey alanı ve hacim değerleri aşağıda yer alan eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir (Baryeh, 2001; Mohsenin, 1980; Jain ve Ball, 1997, Özgüven ve Vursavuş, 2005).

$$S = \pi D_g^2 \quad (3)$$

$$V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L - B)} \quad (4)$$

Burada: $B, (WT)^{0.5}$

İkinci aşamada ise, üç farklı badem çeşidinin (sert kabuklu ve iç badem) statik yük etkisi altındaki mekanik davranışları yani mekanik özellikleri belirlenmiştir. Nem içeriğinin ve yükleme ekseninin kabuk kırılma kuvveti, kırılma noktasındaki deformasyon, kabuk kırılma noktasındaki enerji ve kırılma için gereksinim duyulan güç gibi bazı mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu denemelerde bölgede yaygın olarak yetiştirilen çeşit olması nedeniyle Ferragnes çeşidi badem kullanılmıştır. Bademlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü Laboratuvarında bulunan ve Özgüven ve ark. (2003) ve Vursavuş ve Özgüven (2003) tarafından geliştirilen "Biyolojik Malzeme Test Cihazı" kullanılmıştır. Ferragnes çeşidi bademin sıkıştırma denemelerinde, 0.133 mms^{-1} yükleme hızında çalışılmış ve nem içeriği ve yükleme ekseninin (uzunluk, genişlik ve kalınlık) mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Her nem içeriği ve yükleme eksenini için 15 adet badem kullanılmış ve denemelerde toplam $(4 \times 3) \times 15$ 180 adet Ferragnes çeşidi badem test edilmiştir.

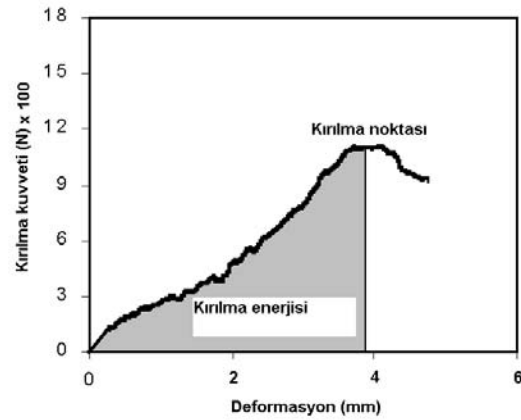
Badem çeşitlerinin (*Ferragnes*, *Ferradual* ve *Guara*) mekanik özellikler (kabuk kırılma kuvveti, kırılma noktasındaki deformasyon, kabuk kırılma noktasındaki enerji ve kırılma için gereksinim duyulan güç) üzerindeki etkilerini araştırmak için tek nem içeriğinde ve 0.133 mms^{-1} yükleme hızında çalışılmıştır. Ayrıca hem sert kabuklu hem de iç badem için genişlik boyutunda sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hem sert kabuklu hem de iç badem için yapılacak bu denemelerde de 15 adet materyal kullanılmış ve denemelerde toplam 45 adet sert kabuklu, 45 adet de iç badem için materyal test edilmiştir.

Kırılma noktasındaki enerji ve kırılma için gereksinim duyulan gücün hesaplanmasında Şekil 1'de yer alan kuvvet-deformasyon eğrisinden yararlanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, eğri

altında kalan alan ölçülerek kırılma noktasındaki enerji değerleri hesaplanmıştır. Kırılma için gereksinim duyulan gücün hesaplanmasında ise aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Khazaei ve ark., 2001; Vursavuş ve Özgüven, 2005).

$$P = \frac{E_a V}{60000 D} \quad (5)$$

Burada: P bademin kırılması için gereksinim duyulan güç (W), E_a kırılma noktasındaki enerji (mJ), V yükleme miktarı ($mm \text{ min}^{-1}$), D kabuk kırılma noktasındaki deformasyon (mm)'dir.



Şekil 1. Kuvvet-deformasyon eğrisi

Fiziksel özellikler ilgili istatistiksel hesaplamalarda, tesadüf bloklarında faktöriyel deneme deseni (tek faktörlü) kullanılmış ve çeşidin fiziksel özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca çeşitler arasında fark olup olmadığı Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir. Nem içeriği ve yükleme ekseninin mekanik özellikler üzerindeki etkisi benzer şekilde tesadüfi bloklarda faktöriyel deneme deseni (iki faktörlü) kullanılarak belirlenmiş ve ortalamalar arasındaki fark Duncan çoklu karşılaştırma testi ile ortaya konmuştur. Ayrıca, Ferragnes çeşidinde her yükleme eksenini için nem içeriğinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi Regresyon Analizi (R^2) yapılarak belirlenmiştir. Çeşitlerin mekanik özellikler üzerindeki etkisi de tek faktörlü deneme deseni kullanılarak araştırılmış ve çeşitlerin ortalama değerleri arasında fark olup olmadığı istatistiksel olarak incelenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Nem İçeriği ve Sıkıştırma Ekseninin Etkisine İlişkin Sonuçlar

Çizelge 1'de üç badem çeşidine ait (kabuk ve iç badem) ölçülen ve hesaplanan fiziksel özellikler verilmiştir. Çizelge 1 den görüldüğü gibi sert

kabuklularda yapılan ölçümler sonucunda, uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve kütle değerleri her üç çeşit içinde istatistiksel olarak %5, %1 ve %0.1 önem düzeyinde farklılıklar göstermiştir. İç bademe ilişkin

Çizelge 1. Üç Farklı Badem Çeşidinin Fiziksel Özellikleri

Ölçülen Karakteristikler	Ferragnes	Ferradual	Guara	Önem seviyesi
Kabuk				
Uzunluk, mm	33.43±2.38 ^b	36.24±3.39 ^a	36.48±3.62 ^a	***
Genişlik, mm	21.71±1.31 ^b	22.98±1.98 ^a	23.11±2.08 ^a	***
Kalınlık, mm	14.92±0.80 ^b	15.29±1.56 ^a	15.49±1.80 ^a	*
Geometrik ortalama çap, mm	22.11±1.19 ^b	23.32±1.87 ^a	23.51±1.93 ^a	***
Küresellik, %	66.27±2.63 ^a	64.52±3.29 ^b	64.66±3.88 ^b	***
Yüzey alanı, cm ²	15.40±1.67 ^b	17.20±2.77 ^a	17.47±2.79 ^a	***
Hacim, cm ³	5.71±0.95 ^b	6.77±1.65 ^a	6.94±1.64 ^a	***
Kütle, g	3.67±0.59 ^b	3.95±0.96 ^a	4.01±1.03 ^a	**
İç badem				
Uzunluk, mm	25.49±1.72 ^b	27.73±2.26 ^a	28.33±2.41 ^a	***
Genişlik, mm	13.31±0.87 ^b	13.84±1.95 ^a	14.14±1.22 ^a	***
Kalınlık, mm	7.86±0.56 ^a	6.85±0.71 ^b	6.95±0.58 ^b	***
Geometrik ortalama çap, mm	13.50±0.79	13.40±0.87	13.68±0.83	Ns
Küresellik, %	52.99±1.64 ^a	48.47±2.97 ^b	48.39±2.16 ^b	***
Yüzey alanı, cm ²	5.73±0.66	5.66±0.74	5.89±0.70	Ns
Hacim, cm ³	1.41±0.24	1.38±0.28	1.46±0.26	Ns
Kütle, g	1.19±0.21 ^a	1.08±0.20 ^b	1.17±0.21 ^a	**
Kabuk ve iç badem ilişkisi				
Randıman, %	33.78±8.78 ^a	27.96±8.99 ^b	34.11±13.43 ^a	***

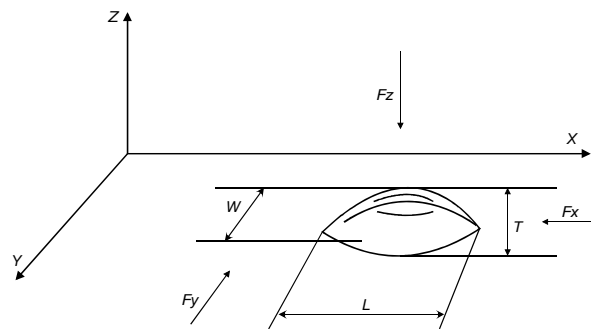
^{a,b} harfleri sıralardaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir. *, **, *** işaretleri sırasıyla %5, %1 ve %0.1 önem seviyeleridir. Ns: istatistiksel olarak önemsiz.

yapılan istatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre ise, geometrik ortalama çap, yüzey alanı ve hacim değerleri arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Bademin kalitesini de ifade etmekte kullanılan randıman değerlerine bakıldığında ise en yüksek randımana %34.11'lik değer ile Guara çeşidinde ulaşılmıştır. Ferragnes ve Ferradual çeşitlerinde bu değer sırasıyla %33.78 ve %27.96 olarak hesaplanmıştır.

Sıkıştırma denemelerinde Şekil 2 de görülen aksenal boyutlar ve kuvvetler kullanılmıştır. Denemelerde şekilde tanımlandığı gibi uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarında sıkıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Ferragnes çeşidinde yürütülen ölçümlerde sıkıştırma eksenini ve nem içeriğinin mekanik özellikler (kırılma kuvveti, deformasyon, kırılma enerjisi ve kırılma için gereksinim duyulan güç) üzerindeki etkisine ilişkin ortalama değerler ve standart sapmaları Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, yapılan varyans

analizine ilişkin elde edilen sonuçlarda Çizelge 3'de görülmektedir.



Şekil 2. Bademlerde uygulanan sıkıştırma eksenlerinin gösterimi: X-ekseni, uzun eksen boyunca sıkıştırma (uzunluk, L); Y-ekseni, uzunluk eksenine dik açıda genişlik eksenini boyunca sıkıştırma (genişlik, W); ve Z-ekseni, kalınlık eksenini boyunca sıkıştırma (kalınlık, T); F_x, F_y, ve F_z aksenal kuvvetler.

Kırılma Kuvveti

Yapılan varyans analizi sonucuna göre, nem içeriği ve yükleme ekseninin kırılma kuvveti üzerinde %1 ($P<0.01$) önem düzeyinde istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir. Nem içeriği x yükleme eksen

etkileşimin ise istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Genellikle, nem içeriğindeki artış kırılma kuvvetinde bir düşüşe neden olmuştur. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise

Çizelge 2. Ferragnes badem çeşidinde sıkıştırma eksen ve nem içeriğinin kırılma kuvveti, kırılma noktasındaki deformasyon, kırılma enerjisi ve güç gereksinimi üzerindeki etkisi.

Nem içeriği (% k.b.)	Sıkıştırma eksen	Kırılma kuvveti ^a (N)	Deformasyon ^a (mm)	Kırılma enerjisi ^a (mJ)	Güç gereksinimi ^a (W)
6.16	Düşey	618.36±100.78	5.83±0.78	1825.59±472.25	0.041±0.0067
	Yatay	388.30±70.20	4.43±1.05	809.64±220.68	0.026±0.0047
	Kalınlık	503.20±98.39	4.26±0.65	1093.27±338.80	0.033±0.0066
11.67	Düşey	462.68±102.18	5.35±1.09	1273.49±484.19	0.031±0.0068
	Yatay	253.81±53.54	4.12±0.49	514.18±221.84	0.017±0.0036
	Kalınlık	310.88±68.23	3.25±0.71	527.93±215.61	0.022±0.0046
19.21	Düşey	395.25±142.67	4.81±1.08	1009.62±535.57	0.026±0.0095
	Yatay	227.99±73.03	3.88±1.09	489.63±146.01	0.015±0.0049
	Kalınlık	320.21±67.84	3.51±0.42	573.77±171.53	0.021±0.0045
26.79	Düşey	387.55±58.20	4.70±0.91	922.98±282.20	0.025±0.0039
	Yatay	218.69±28.14	3.56±0.81	428.40±217.30	0.014±0.0019
	Kalınlık	400.07±103.43	3.95±0.72	822.03±337.10	0.026±0.0068

^a 20 ölçüm ortalaması

Çizelge 3. Ferragnes Çeşidinde Nem İçeriği ve Sıkıştırma Ekseninin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisine İlişkin Varyans Analizi Sonuçları

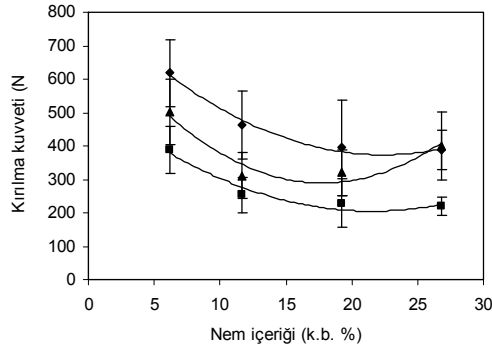
Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	F Değerleri			
		Kırılma kuvveti	Deformasyon	Kırılma enerjisi	Güç gereksinimi
Nİ	4	31.047**	5.544**	19.637**	30.809**
SE	3	51.640**	32.014**	45.624**	51.805**
NİxSE	12	1.976 ^{ns}	1.409 ^{ns}	2.558*	1.812 ^{ns}

**,*: $P<0.01$ ve $P<0.05$ önem seviyesi, ns: İstatistiksel olarak önemsiz. Nİ: Nem içeriği, SE: Sıkıştırma eksen

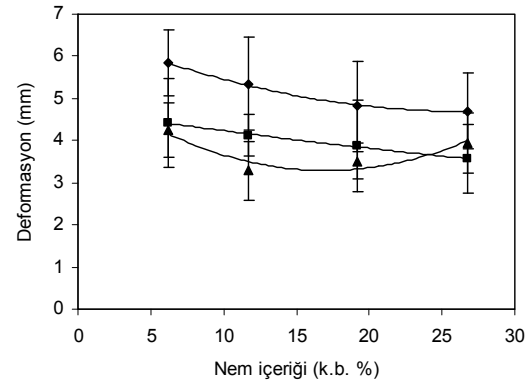
%11.67-% 26.79 nem içerikleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı ve aynı gruplar içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. % 6.16'lık nem içeriğinde 503.287 N olan kırılma kuvveti, % 26.79'luk nem içeriğinde 335.435 N'a kadar düşmüştür. Bu durum, nem içeriğindeki artışa bağlı olarak yumuşama ve kabuk kırılma dirençlerindeki azalma ile açıklanabilmektedir. Yükleme eksenleri dikkate alındığında ise, düşey ekseninde yapılan kırma denemelerinde kırılma kuvveti 465.956 N olarak ölçülmüş iken bu değerler yatay ve kalınlık eksenlerinde sırasıyla 272.198 N ve 383. 589 N olarak ölçülmüştür. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de eksenlerin farklı gruplar içerisinde yer aldığı ve aralarındaki farkın %5 ($P<0.05$) önem düzeyinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Denemeler sırasında, özellikle yüksek nem içeriğinde kalınlık

ekseni boyunca yapılan sıkıştırma denemelerinde iç bademde kırılmaların meydana geldiği ve çoğunlukla tüm denemeler boyunca bunun gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek nem içeriği ile iç bademde meydana gelen şişme ve sert kabuk iç duvarlarına kadar boşluk bırakmayacak şekilde dayanması ve buna bağlı kırılmalar şeklinde açıklanabilir. Nem içeriği ve sıkıştırma eksenine bağlı olarak kırılma kuvvetinin değişimi Şekil 3'de görülmektedir.

Bu nedenle bir badem kırma makinesinin tasarımında bademlerin yatay eksen boyunca kırılmasını sağlayacak kırma ünitesinin şekillendirilmesi ve belirli yüzde de nemlendirilmesi kırma işleminin kalitesi ve verimi açısından önerilebilmektedir.



Şekil 3. Ferragnes badem çeşidinde nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma kuvveti üzerindeki etkisi: (♦), Düşey; (■), Yatay; (▲), Kalınlık.



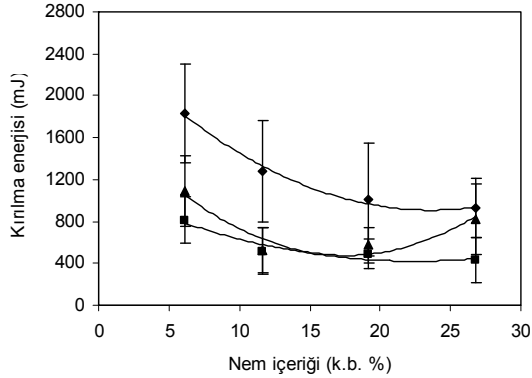
Şekil 4. Ferragnes badem çeşidinde nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma noktasındaki deformasyon üzerindeki etkisi: (♦), Düşey; (■), Yatay; (▲), Kalınlık.

Deformasyon

Nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin bir fonksiyonu olarak kırılma noktasındaki deformasyon nem içeriği arttıkça azalma göstermiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre nem içeriği ve sıkıştırma eksen faktörlerinin %1 ($P < 0.01$) önem seviyesinde istatistiksel olarak kırılma noktasındaki deformasyon üzerinde etkili olduğu, nem içeriği x sıkıştırma eksen etkileşiminin ise istatistiksel olarak deformasyon üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 3). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise %11.67-%26.79 nem içeriklerinde elde edilen deformasyon değerleri arasında istatistiksel farklılıklar olmadığı ve aynı gruplar içerisinde yer aldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, sıkıştırma eksenleri için yapılan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ise, yatay ve kalınlık eksen boyunca uygulanan sıkıştırma testlerinde istatistiksel olarak bir farklılık olmadığı ve sırasıyla 3.998 mm ve 3.705 mm lik deformasyon değerlerinin ölçüldüğü belirlenmiştir. Düşey eksen uygulanan sıkıştırma denemelerinde ise 5.171 mm'lik deformasyon değeri ölçülmüş ve diğer iki eksenle istatistiksel olarak farklılık olduğu belirlenmiştir. Nem içeriğindeki artışa bağlı olarak kırılma noktasındaki deformasyon değerlerindeki bu azalma kabuk direnci ve elastik sınırdaki düşüş ile açıklanabilmektedir. Nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma noktasındaki deformasyon üzerindeki etkisi Şekil 4'de verilmiştir.

Kırılma Enerjisi

Nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma eksen üzerindeki etkisine ilişkin olarak yapılan denemeler sonucunda, nem içeriği ve sıkıştırma eksen faktörlerinin enerji üzerindeki etkisi istatistiksel olarak %1 ($P < 0.01$) önem düzeyinde etkili bulunmuştur. Nem içeriği x kırılma eksen etkileşimi ise %5 ($P < 0.05$) önem düzeyinde istatistiksel olarak etkili olmuştur. Nem içeriğindeki artış kırılma enerjilerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum üç sıkıştırma ekseninde de gözlemlenmiş ve ölçülmüştür. Kırılma enerjisi %6.16 lik nem içeriğinde 1261.689 mJ iken bu değer %26.79 luk nem içeriğinde 724.469 mJ olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, düşey eksen uygulanan sıkıştırma denemelerinde kırılma enerjisi 1257.92 mJ olarak ölçülmüş iken bu değer yatay ve kalınlık eksen boyunca sırasıyla 574.61 mJ ve 754.25 mJ olarak ölçülmüştür. Ayrıca, yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda da üç sıkıştırma ekseninin de farklı gruplar içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. Özellikle üç sıkıştırma ekseninde de nem içeriğindeki artışa bağlı olarak kırılma enerjisindeki azalma, kuvvet değerlerindeki düşüş ve deformasyon değerlerindeki azalma ile açıklanabilmektedir. Özellikle makine tasarımında kırma sisteminin (ünitesinin) hangi şekilde tasarlanacağı (çarpma veya sıkıştırma etkili) bu parametre aracılığıyla ortaya konabilmektedir. Nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma enerjisi üzerindeki etkisine ilişkin sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.

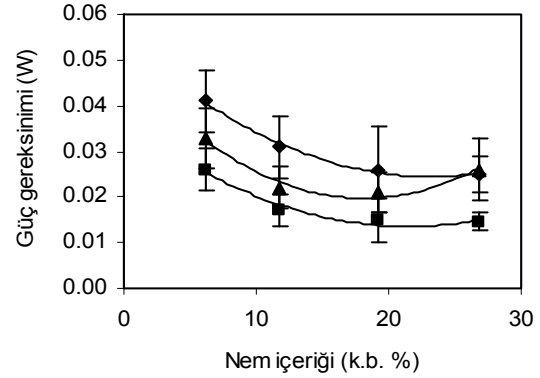


Şekil 5. Ferragnes badem çeşidinde nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma enerjisi üzerindeki etkisi: (♦), Düşey; (■), Yatay; (▲), Kalınlık.

Şekilden de görüldüğü gibi, sadece kalınlık eksenini boyuncu uygulanan sıkıştırma denemelerinde %26.79 luk nem içeriğinde kırılma enerjisinde bir artış meydana gelmiştir. Bu durum, özellikle yüksek nem içeriğinde nem absorpsiyonu nedeniyle iç bademde meydana gelen şişme ve sert kabukla iç badem arasında boşluk bırakmayacak şekilde bir bütün gibi davranmasından kaynaklanabilmektedir.

Güç Gereksinimi

Bademlerin kırılması için gereksinim duyulan güce ilişkin yapılan istatistiksel değerlendirmelere göre, nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin bu değerler üzerinde %1 ($P < 0.01$) önem düzeyinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, nem içeriği x sıkıştırma eksenine etkileşiminin ise güç gereksinimi üzerinde istatistiksel olarak bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. %6.16'lık nem içeriğinde hesaplanan güç değeri 0.0336 W iken bu değer %26.79 luk nem içeriğinde 0.0224 W olarak ölçülmüştür. Eksenler arasındaki farklılıklar incelendiğinde ise, düşey ekseninde hesaplanan güç değeri 0.0311 W iken bu değerler yatay ve kalınlık eksenlerinde sırasıyla 0.0181 W ve 0.0257 W olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Ferragnes badem çeşidinde nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin kırılma için gereksinim duyulan güç üzerindeki etkisi: (♦), Düşey; (■), Yatay; (▲), Kalınlık.

Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de üç sıkıştırma ekseninin de farklı gruplar içerisinde yer aldığı ve aralarındaki farkın %5 ($P < 0.05$) önem düzeyinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Khazaei ve ark. (2001) tarafından badem üzerinde yürütülmüş olan bir çalışmada nem içeriğindeki artışa bağlı olarak kabuk ve iç bademin kırılması için gereksinim duyulan güç miktarının azaldığı belirlenmiştir. Nem içeriği ve sıkıştırma ekseninin güç gereksinimi üzerindeki etkisine ilişkin sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 4 de; kırılma kuvveti, deformasyon, kırılma enerjisi ve güç gereksiniminin nem içeriğine bağlı değişimini gösteren ikinci dereceden polinomial ilişkiye ait katsayılar ve değişim katsayıları verilmiştir. Ayrıca, nem içeriğine bağlı üç sıkıştırma eksenine için tüm parametrelere ait polinomial eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Y = a_0 + \alpha MC + \beta MC^2 \quad (6)$$

Çeşitler Arasındaki İlişki

Ferragnes, Ferradual ve Guara badem çeşitleri kullanılarak yapılan sıkıştırma denemelerinde yatay eksen boyunca sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve bu denemelerde kabuk ve iç badem de ölçümler yapılarak farklılıklar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

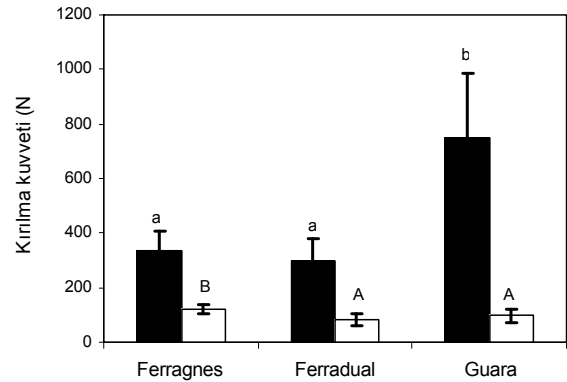
Çizelge 4. Ferragnes çeşidinde nem içeriği ve kırılma parametreleri arasındaki ilişki.

Parametre Y	Katsayı	Sıkıştırma eksenine		
		Düsey	Yatay	Kalınlık
Kırılma kuvveti, N	a_0	827.74	545.5	757.11
	a	-40.604	-31.594	-52.637
	β	0.9078	0.7324	1.4797
	$*r^2$	0.9874	0.9457	0.908
Deformasyon, mm	a_0	6.6445	4.7209	5.4518
	a	-0.1463	-0.0521	-0.2548
	β	0.0027	0.0003	0.0075
	r^2	0.9961	0.9924	0.8364
Kırılma enerjisi, mJ	a_0	2546.40	1106.7	1836
	a	-138.79	-61.063	-154.68
	β	2.9384	1.3582	4.3987
	r^2	0.9887	0.9047	0.8997
Güç gereksinimi, W	a_0	0.0546	0.0368	0.0488
	a	-0.0026	-0.0022	-0.0032
	β	6×10^{-5}	5×10^{-5}	9×10^{-5}
	r^2	0.9917	0.9544	0.9565

* r^2 = Belirtme katsayısı

Kırılma Kuvveti

Kabuk kırılma kuvvetine ilişkin yapılan ölçümlerde, en yüksek kırılma kuvveti Guara çeşidinde elde edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de Ferragnes ve Ferradual badem çeşitlerinin kabuk kırılma kuvveti değerleri arasında istatistiksel olarak bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Aynı şekilde iç badem için yapılan denemelerde de çeşitler arasındaki fark araştırılmış olup, en yüksek kırılma kuvvetine Ferragnes çeşidinde ulaşılmıştır. Ferradual ve Guara çeşitlerinde ölçülen kırılma kuvveti değerleri arasında ise istatistiksel olarak bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara ilişkin değerler ve istatistiksel sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

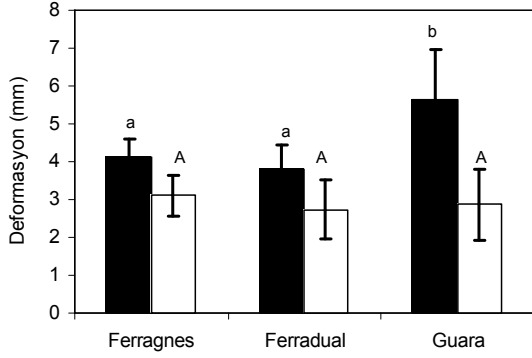


Şekil 7. Badem çeşitlerinin kırılma kuvveti üzerindeki etkisi: ■, kabuk ve □, iç badem. Deformasyon hızı: 0.133 mm s⁻¹ (genişlik eksenine boyunca sıkıştırma)

Deformasyon

Kırılma noktasındaki deformasyon değerlerine ilişkin olarak, kabuk kırılma noktasındaki deformasyon değerlerine bakıldığında en yüksek deformasyon değerine (5.66 mm) Guara çeşidinde ulaşılmıştır. Ferragnes ve Ferradual çeşitlerinde ölçülen deformasyon değerleri sırasıyla 4.12 mm ve 3.82 mm olarak gerçekleşmiştir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarından ise Ferragnes ve Ferradual badem çeşitleri arasında kabuk kırılma noktasındaki deformasyon değerleri açısından bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. İç badem için yapılan ölçümlerde de çeşitler arasında deformasyon değerleri

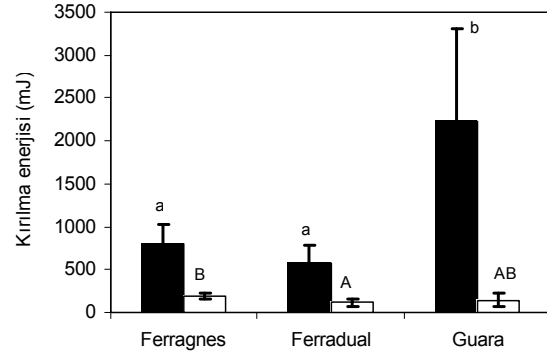
açısından istatistiksel olarak hiçbir farklılığın olmadığı yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda ortaya konmuştur. Bu sonuçlara ilişkin değerler ve istatistiksel sonuçlar Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Badem çeşitlerinin kırılma noktasındaki deformasyon üzerindeki etkisi: ■, kabuk ve □, iç badem. Deformasyon hızı: 0.133 mm s⁻¹ (genişlik eksenini boyunca sıkıştırma)

Kırılma enerjisi

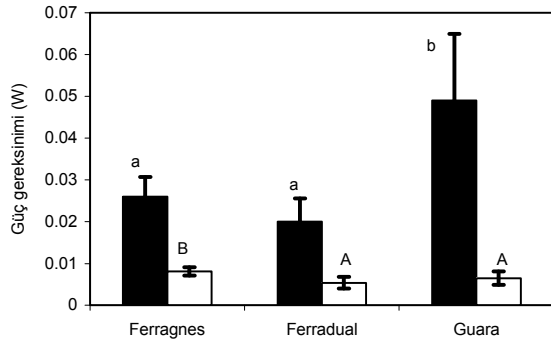
Kırılma kuvveti ve kırılma noktasındaki deformasyon parametreleri kullanılarak hesaplanan kırılma enerjisi değerlerine ilişkin sonuçlar ve istatistiksel değerlendirmeler Şekil 9’da verilmiştir. Kabuk ölçümlerinde en yüksek kırılma enerjisi değerine 2233.09 mJ ile Guara çeşidinde ulaşılmıştır. Bu değerler Ferragnes ve Ferradual çeşitlerinde sırasıyla 809.64 mJ ve 573.93 mJ olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak yapılan değerlendirme sonuçlarına göre ise Ferragnes ve Ferradual çeşitleri arasında bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. İç badem kırılma enerjisi değerlerine bakıldığında, Ferragnes de bu değer 189.41 mJ olarak, Ferradual ve Guara çeşitlerinde ise sırasıyla 114.05 mJ ve 147.58 mJ olarak hesaplanmıştır. İç bademe ilişkin yapılan istatistiksel değerlendirme sonuçları da Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Badem çeşitlerinin kırılma enerjisi üzerindeki etkisi: ■, kabuk ve □, iç badem. Deformasyon hızı: 0.133 mm s⁻¹ (genişlik eksenini boyunca sıkıştırma)

Güç Gereksinimi

Üç çeşit kullanılarak gerçekleştirilen kırma işlemlerinde sert kabuk ve iç bademin kırılması için gereksinim duyulan güç miktarları hesaplanmış ve istatistiksel değerlendirmeleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda, sert kabuğun kırılması için gereksinim duyulan güç değerleri Ferragnes, Ferradual ve Guara çeşitleri için sırasıyla 0.026 W, 0.020 W ve 0.049 W olarak hesaplanmıştır. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre Ferragnes ve Ferradual çeşitlerinin aynı grup içerisinde yer aldığı ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. İç badem için yapılan ölçümlerde ise en yüksek güç gereksinimi 0.0081 W lık değer ile Ferragnes çeşidinde hesaplanmıştır. Bu değerler Ferradual ve Guara çeşitlerinde sırasıyla 0.0054 W ve 0.0065 W olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize Ferragnes çeşidinde iç badem direncinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. İç bademlerin kırılma kuvvetleri değerleri de bu durumu destekler niteliktedir. İç bademlere ilişkin olarak yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre de Ferragnes çeşidinin diğer iki çeşitten istatistiksel olarak farklılık gösterdiği Şekil 10’da görülebilmektedir.



Şekil 10. Badem çeşitlerinin kırılması için gereksinim duyulan güç üzerindeki etkisi: ■, kabuk ve □, iç badem. Deformasyon hızı: 0.133 mm s⁻¹ (genişlik eksenı boyunca sıkıştırma)

SONUÇ ve ÖNERİLER

Makine tasarım parametreleri olarak ta kullanılan materyallere ait fiziksel ve mekanik özellikler, uygulamada bir çok aksaklıkların giderilmesine ve uygun yapısal organların tasarlanmasına yardımcı olmaktadır. Badem işleme makinası genellikle, bademin yeşil aksamının (hull) alınması, kırma işleminin gerçekleştirilmesi ve ayırma işleminin

LİTERATÜR LİSTESİ

- Aydın, C., 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60, 314-320.
- Baryeh, E.A., 2001. Physical Properties of bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering*, 47: 321-326.
- Gezer, İ., Haciseferoğulları, H., Demir, F., 2002. Some physical properties of Hacıhaliloğlu apricot pit and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 56, 49-57.
- Jain, R.K., Ball, S., 1997. Physical Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 85-91.
- Khazaei, J., Rasekh, M., Borghei A.M., 2001. Physical and mechanical properties of almond and its kernel related to cracking and peeling. *Journal of Agricultural Sciences*. Azad Islamic University, Tehran, Iran.
- Mohsenin, N.N., 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Olaoye, J.O., 2000. Some physical properties of castor nut relevant to design of processing equipment. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(1), 113-118.
- Olanıyan, A.M., Oje, K. 2002. Some aspects of the mechanical properties of shea nut. *Biosystems Engineering*, 81(4): 413-420.

yapılması gibi aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamaların uygun bir şekilde gerçekleştirilebilmesi içinde ürünlerin fiziko-mekanik özelliklerinin bilinmesi şarttır. Bu amaçla yürütülen bu çalışmada, öncelikli olarak kırma işleminin nasıl yapılacağına karar verilmesine olanak sağlayacak parametreler elde edilmiştir. Ferragnes çeşidi kullanılarak yapılan sıkıştırma (statik yük) denemelerinde farklı nem içerikleri ve farklı sıkıştırma eksenlerinde çalışılmış ve iç badem kalitesi açısından da önemli olan ve mekanik zedelenmeyi minimum düzeyde tutacak koşullar belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, belirli bir nem içeriğine kadar bademlerin koşullandırılması ve yatay eksen boyunca kırma işlemini gerçekleştirebilecek kırma ünitesinin tasarlanması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Kırma ünitesinin tasarımında önemli olan durumlardan biride, iç bademin kırılma direncidir. Bu amaçla da, iç bademler üzerinde de çeşitler bazında sıkıştırma denemeleri yürütülmüş ve sonuçlar açıklanmıştır. Sonuç olarak, nem içeriğini belli düzeyde tutmak ve yatay eksen boyunca kırma işlemini gerçekleştirmek en iyi koşul olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Özgülven, F., Vursavuş, K. 2005. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts. *Journal of Food Engineering*, 68:191-196.
- Özgülven, F., Vursavuş, K., Küden, A., 2003. Seçilmiş bazı bahçe ürünlerinin biyolojik-teknik özelliklerinin belirlenmesi ve bu özellikler ile ürün zedelenme hassasiyeti arasındaki ilişkilerin araştırılması. Bireysel Araştırma Projeleri Sonuç Raporu (ZF-2002, BAP.22), Adana.
- Sitkei, G., 1986. Mechanics of agricultural materials. Akademiai Kiado, Budapest.
- Vursavuş, K., Özgülven, F. 2004. Mechanical behaviour of apricot pit under compression loading. *Journal of Food Engineering*, 65: 255-261.
- Vursavuş, K., Özgülven, F., 2005. Fracture Resistance of Pine Nut to Compressive Loading. *Biosystems Engineering*, 90,2: 185-191.
- Vursavuş, K., Özgülven, F., 2003. Determining the strength properties of the Dixired peach variety. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27: 155-160.